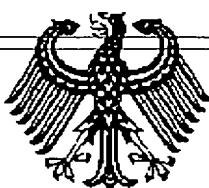


10/08/00  
5/4  
PCT/DE 00/03434  
Priority

RECD 08 JAN 2001	
WIPO	PCT

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

DE OC | 3434

EU

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 199 48 694.8

**Anmeldetag:** 30. September 1999

**Anmelder/Inhaber:** Siemens AG, München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Erkennen einer Pendelung in einem elektrischen Energieversorgungsnetz

**IPC:** G 01 R, H 02 H

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Oktober 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Beschreibung

Verfahren zum Erkennen einer Pendelung in einem elektrischen Energieversorgungsnetz

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen von mindestens einem eine Pendelung in einem elektrischen Energieversorgungsnetz anzeigen Signal (Pendelsignal), bei dem von mindestens einer Phase des Energieversorgungsnetzes

10 jeweils Phasenstrom und Phasenspannung unter Bildung von Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten abgetastet werden, aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten

Impedanzwerte gebildet werden, die Impedanzwerte auf das Vorliegen einer Pendelung hin überwacht werden und bei

15 Erkennung einer Pendelung mindestens ein Speicherelement gesetzt und an dessen Ausgang das Pendelsignal ausgegeben wird, nach Setzen des Speicherelementes weitere Impedanzwerte dahingehend überprüft werden, ob die festgestellte Pendelung

noch anhält, bei Anhalten der Pendelung das Speicherelement

20 unbeeinflußt bleibt und beim Aufhören der Pendelung das Speicherelement zurückgesetzt wird.

Ein derartiges Verfahren ist in der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 03 626 A1 beschrieben. Bei diesem

25 Verfahren werden nach dem Setzen des Speicherelementes

weitere Impedanzwerte auf das Anhalten der festgestellten Pendelung hin überprüft, indem die zeitliche Änderung der Größe jeweils aufeinanderfolgender Impedanzwerte ermittelt wird und bei einer oberhalb eines Grenzwertes liegenden

30 zeitlichen Änderung ein Aufhören der Pendelung erkannt und das Speicherelement zurückgesetzt wird. Die Festlegung eines solchen Grenzwertes erweist sich als schwierig, insbesondere dann, wenn in den Energieversorgungsnetzen eine Vielzahl von

Generatoren verbunden sind und dadurch komplizierte Pendelungen entstehen können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem stets sicher und zuverlässig das Pendelverhalten eines elektrischen Energieversorgungsnetzes 5 festgestellt werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs angegebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß bei der Überprüfung der weiteren Impedanzwerte ein Pendel-Modell 10 benutzt wird, das aus vergangenen, zur Pendelung gehörenden Impedanzwerten oder aus von diesen Impedanzwerten abhängigen Größen gebildet ist; danach wird überprüft, ob ein aktuell gebildeter weiterer Impedanzwert oder eine von diesem weiteren Impedanzwert abhängige Größe vom Pendel-Modell 15 abweicht, und es wird ein Auftreten eines weiteren Impedanzwertes oder einer von diesem Impedanzwert abhängigen Größe, welche von dem Pendel-Modell abweichen, als ein Aufhören der Pendelung gewertet.

20 Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß mit dem Pendel-Modell auch komplizierte Pendelungen beschrieben werden können und somit auch bei solchen komplizierten Pendelungen mit einer hohen Zuverlässigkeit das Aufhören der Pendelung erkannt werden 25 kann.

Das Pendel-Modell kann vorteilhafterweise mittels eines Least-Squares-Schätzverfahrens ermittelt werden. Mit diesem Schätzverfahren kann aus aufeinanderfolgenden Impedanzwerten, 30 welche nach dem Setzen des Speicherelementes, also nach Beginn der Pendelung gebildet wurden, ein mathematisches Pendel-Modell erzeugt werden.

Für dieses Pendel-Modell kann als Modellansatz eine Funktion 35 der Form  $f(x) = ax^3+bx^2+cx+d$  mit den Parametern a, b, c und d

verwendet werden, bei der ein oder mehrere Parameter vor

Beginn des Schätzverfahrens als Null festgelegt werden können. Somit können als Modellansatz Potenzfunktionen erster, zweiter oder dritter Ordnung angewandt werden.

5 Weiterhin kann als Modellansatz für das Pendel-Modell eine Summe aus zeitlich abklingenden Sinus- und Cosinusfunktionen verwendet werden. Mit diesen Modellansätzen ist es möglich, auch komplizierte Pendelungen mathematisch zu beschreiben.

10 Das Pendel-Modell kann direkt für die ermittelten Impedanzwerte der Pendelung oder auch für von diesen Impedanzwerten abhängige Größen gebildet werden. Als abhängige Größen können Resistanzwerte R, Reaktanzwerte X, zeitliche Ableitungswerte  $dZ/dt$  der Impedanz, zeitliche  
15 Ableitungswerte  $dR/dt$  einer Resistenz oder zeitliche Ableitungswerte  $dX/dt$  einer Reaktanz verwendet werden. Durch Wahl der am besten geeigneten Größe für das Pendel-Modell kann das Aufhören der Pendelung mit einer hohen Zuverlässigkeit bestimmt werden, wobei die Wahl der Größe von  
20 der individuellen Netzkonfiguration des elektrischen Energieversorgungsnetzes abhängt.

25 In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung können aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten Mitsystemimpedanzwerte gebildet werden, und für alle Phasen des Energieversorgungsnetzes ein gemeinsames Speicherelement bereitgestellt und ein gemeinsames Pendelsignal erzeugt werden. Diese Variante ist anwendbar, wenn eine Aussage über eine in allen Phasen des Energieversorgungsnetzes  
30 gleichzeitig auftretende Pendelung getroffen werden soll.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens können aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten jeweils einer auf Pendelung zu  
35 untersuchenden Phase des Energieversorgungsnetzes Phasen-

Impedanzwerte gebildet und für jede dieser Phasen ein eigenes

Speicherelement bereitgestellt und ein eigenes Pendelsignal erzeugt werden. In dieser Ausführungsform kann für jede einzelne Phase des Energieversorgungsnetzes getrennt das

5 Pendelverhalten untersucht, also sowohl der Beginn als auch das Aufhören einer Pendelung erkannt werden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn Pendelungen nur in einigen, nicht aber in allen Phasen des  
10 Energieversorgungsnetzes auftreten. Häufig treten derartige Pendelungen bei sog. einpoligen Pausen in Hochspannungsnetzen auf. Ursache für die Erzeugung von einpoligen Pausen sind die in Hochspannungsnetzen häufig anzutreffenden einpoligen Leiter-Erde-Fehler, bei denen ein Lichtbogen zwischen einem Leiter und der Erde gezündet wird. Bei diesem Fehler erzeugt  
15 man eine einpolige Pause, d. h. man schaltet die eine Phase, in der der einpolige Leiter-Erde-Fehler aufgetreten ist, kurzzeitig ab. Dadurch erlischt der Lichtbogen und der Fehler ist oftmals behoben. Durch das einpolige Abschalten einer Phase kann es in den verbleibenden nicht abgeschalteten  
20 Phasen zu Pendelungen kommen. Diese Pendelungen können beispielsweise nicht über eine Überwachung der Mitsystemimpedanzwerte erkannt werden, da  
Mitsystemimpedanzwerte nur bei Vorliegen von Abtastwerten aller Phasen des Energieversorgungsnetzes gebildet werden  
25 können. Im Falle einer einpoligen Pause ist es nun sehr vorteilhaft, wenn man für jede Phase des Energieversorgungsnetzes ein eigenes Pendelsignal erzeugen kann; während der einpoligen Pause wird dieses Pendelsignal nur für die nicht abgeschalteten Phasen erzeugt. Das  
30 Pendelverhalten des Energieversorgungsnetzes kann also für jede Phase individuell und unabhängig vom Zustand anderer Phasen bestimmt werden.

Die Phasen-Impedanzwerte der einzelnen Phasen des

35 elektrischen Energieversorgungsnetzes können beispielsweise

gebildet werden, indem zur Bildung der Phasen-Impedanzwerte

- aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten ( $i$ ,  $u$ ) der jeweiligen Phase eine den Realteil der

Phasenspannungsabtastwerte enthaltende Größe  $U_{re}$ , eine den

5 Imaginärteil der Phasenspannungsabtastwerte enthaltende Größe  $U_{im}$ , eine den Realteil der Phasenstromabtastwerte enthaltende Größe  $I_{re}$  und eine den Imaginärteil der

Phasenstromabtastwerte enthaltende Größe  $I_{im}$  erzeugt wird,

- eine Phasen-Wirkleistungsgröße  $P$  gemäß

$$10 \quad P = U_{re} \cdot I_{re} - U_{im} \cdot I_{im} \text{ ermittelt wird,}$$

- eine Phasen-Blindleistungsgröße  $Q$  gemäß

$$Q = U_{im} \cdot I_{re} + U_{re} \cdot I_{im} \text{ ermittelt wird,}$$

- eine quadrierte Phasenstromamplitudengröße  $I^2$  gemäß

$$I^2 = I_{re} \cdot I_{re} + I_{im} \cdot I_{im} \text{ ermittelt wird,}$$

15 - mittels jeweils eines Least-Squares-Abschätzverfahrens

netzfrequente Anteile aus der Phasen-Wirkleistungsgröße  $P$ , der Phasen-

Blindleistungsgröße  $Q$  und der quadrierten

Phasenstromamplitudengröße  $I^2$  entfernt werden und

- Phasen-Resistanzwerte  $R$  gemäß  $R=P/I^2$  sowie Phasen-

20 Reaktanzwerte  $X$  gemäß  $X=Q/I^2$  und damit Phasen-

Impedanzwerte  $Z=R+jX$  ermittelt werden.

Bei der Bildung der Phasen-Impedanzwerte ist insbesondere die Entfernung der netzfrequenten Anteile (z.B. 50-Hz-Anteile)

25 aus der Phasen-Wirkleistungsgröße  $P$ , der Phasen-

Blindleistungsgröße  $Q$  und der quadrierten

Phasenstromamplitudengröße  $I^2$  mittels jeweils eines Least-

Squares-Abschätzverfahrens von Vorteil. Derartige

netzfrequente Störanteile würden die Auswertung der aus

30 diesen Größen ermittelten Phasen-Impedanzwerte

beeinträchtigen.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung sind in

Figur 1 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels des

35 erfindungsgemäßen Verfahrens, in

Figur 2 ein Blockschaltbild der Bestimmung der Phasen-

Impedanzwerte, in

Figur 3 die Impulsantworten der zur Impedanzbestimmung verwendeten Filter, in

5 Figur 4 Wirk- und Blindleistungsgrößenverläufe vor der Filterung und in

Figur 5 Wirk- und Blindleistungsgrößenverläufe nach der Filterung gezeigt.

10 In Figur 1 ist schematisch ein Verfahren zur Bestimmung des Pendelverhaltens eines dreiphasigen elektrischen Energieversorgungsnetzes gezeigt, mit dem für jede Phase des Energieversorgungsnetzes ein eigenes Pendelsignal  $Pd_1$ ,  $Pd_2$  und  $Pd_3$  erzeugt wird. Dazu sind drei Umschalter  $U_1$ ,  $U_2$  und  $U_3$  und drei Speicherelemente  $Sp_1$ ,  $Sp_2$  und  $Sp_3$  vorhanden; die Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Einheiten des Schemas sind dreipolig ausgeführt. Die Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerte  $i$  und  $u$  aller drei Phasen werden einer Einheit zur Impedanzbestimmung  $I_b$  zugeführt, an deren 20 Ausgang Phasen-Impedanzwerte  $Z$  der drei Phasen ausgegeben werden. Diese Phasen-Impedanzwerte  $Z$  werden über die Umschalter  $U_1$ ,  $U_2$  und  $U_3$  einer Pendelungserkennungseinheit  $Pe$  zugeführt. Die Pendelungserkennungseinheit  $Pe$  erkennt aus den zeitlichen Verläufen der Phasen-Impedanzwerte  $Z$  das Auftreten 25 einer Pendelung in den einzelnen Phasen, z.B. in Phase 1, und gibt an ihrem Ausgang für jede Phase mit erkannter Pendelung, z.B. für Phase 1, ein Pendelsetzsignal  $Ps$  aus. Das Pendelsetzsignal  $Ps$  setzt das der jeweiligen Phase zugeordnete Speicherelement, z.B.  $Sp_1$ , welches an seinem 30 Ausgang das phasenindividuelle Pendelsignal, z.B.  $Pd_1$ , ausgibt. Bei einem ausgegebenen Pendelsignal, z.B. bei Pendelsignal  $Pd_1$ , wird der der jeweiligen Phase zugeordnete Umschalter, z.B.  $U_1$ , umgeschaltet. Die weiterhin gebildeten Phasen-Impedanzwerte  $Z$  der Phase mit erkannter Pendelung, 35 z.B. der Phase 1, werden einer Pendelsignalrücksetzeinheit  $Pü$

zugeführt. Diese Pendelsignalrücksetzeinheit  $P_U$  erkennt ein Aufhören der Pendelung und gibt in diesem Fall an ihrem Ausgang ein Pendelrücksetzsignal  $P_R$  aus, welches das Speicherelement der jeweiligen Phase, z.B.  $S_P1$ , zurücksetzt.

5 Damit wird auch das Pendelsignal der jeweiligen Phase, z.B.  $P_{d1}$ , nicht mehr ausgegeben, und der jeweilige Umschalter, z.B.  $U_1$ , geht wieder in seine Ausgangsstellung zurück. Eine Einheit zur Phasenauswahl  $P_A$  sorgt auf eine Anregung hin dafür, daß von der Pendelungserkennungseinheit  $P_E$  und der Pendelsignalrücksetzeinheit  $P_U$  jeweils die Phasen-  
10 Impedanzwerte der auf Pendelung zu untersuchenden Phasen bearbeitet werden.

15 Im folgenden wird die Arbeitsweise der vier Einheiten Impedanzbestimmung  $I_B$ , Pendelungserkennungseinheit  $P_E$ , Pendelsignalrücksetzeinheit  $P_U$  und Phasenauswahl  $P_A$  näher erläutert.

20 Entsprechend Fig. 2 werden in der Einheit Impedanzbestimmung  $I_B$  die Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten  $i$  und  $u$  mit Hilfe von orthogonalen FIR-Filters F1, F2, F3 und F4 gefiltert und damit eine den Realteil der Phasenspannungsabtastwerte enthaltende Größe  $U_{re}$ , eine den Imaginärteil der Phasenspannungsabtastwerte enthaltende Größe  
25  $U_{im}$ , eine den Realteil der Phasenstromabtastwerte enthaltende Größe  $I_{re}$  und eine den Imaginärteil der Phasenstromabtastwerte enthaltende Größe  $I_{im}$  erzeugt.

30 In Fig. 3 sind die Impulsantworten der Filter F1 bis F4 dargestellt, wobei die Impulsantwort der die Realteile bestimmen Filter F1 und F3 mit "o" und die Impulsantwort der die Imaginärteile bestimmen Filter F2 und F4 mit "+" gekennzeichnet sind.

Entsprechend Fig. 2 wird im Anschluß daran in Einheit 5 gemäß nachstehender Gl. (1) eine Phasen-Wirkleistungsgröße  $P$  und gemäß Gl. (2) eine Phasen-Blindleistungsgröße  $Q$  und in Einheit 6 gemäß Gl. (3) eine quadrierte

5 Phasenstromamplitudengröße  $I^2$  berechnet.

$$P = U_{re} \cdot I_{re} - U_{im} \cdot I_{im} \quad (1)$$

$$Q = U_{im} \cdot I_{re} + U_{re} \cdot I_{im} \quad (2)$$

$$I^2 = I_{re} \cdot I_{re} + I_{im} \cdot I_{im} \quad (3)$$

10

Danach werden die Phasen-Wirkleistungsgröße  $P$ , die Phasen-Blindleistungsgröße  $Q$  und die quadrierte Phasenstromamplitudengröße  $I^2$  in Einheiten 7 und 8 gefiltert, um die in diesen Größen enthaltenen störenden 50-Hz-Anteile

15 zu entfernen; es entstehen die gefilterten Größen  $P'$ ,  $Q'$  und  $I^{2'}$ . Das zu dieser Filterung benutzte Least-Squares-Abschätzverfahren wird weiter unten ausführlich erläutert.

Fig. 4 zeigt in einer oberen Darstellung a) den Verlauf der

20 Wirkleistungsgröße  $P$  und in einer unteren Darstellung b) den Verlauf der Blindleistungsgröße  $Q$  vor der Filterung mittels Least-Squares-Abschätzverfahren jeweils über der Zeit  $t$  aufgetragen dargestellt.

25 Fig. 5 zeigt in einer oberen Darstellung a) den Verlauf der Wirkleistungsgröße  $P'$  und in einer unteren Darstellung b) den Verlauf der Blindleistungsgröße  $Q'$  nach der Filterung mittels Least-Squares-Abschätzverfahren; es ist deutlich zu erkennen, daß die 50-Hz-Anteile entfernt wurden.

30

Entsprechend Fig. 2 werden nach der Filterung in Einheit 9 Phasen-Resistanzwerte  $R$  und Phasen-Reaktanzwerte  $X$  gemäß Gl. (4) ermittelt und die daraus bestimmten Phasen-Impedanzwerte  $Z=R+jX$  am Ausgang der Einheit Impedanzbestimmung Ib

35 ausgegeben.

$$R = P' / I^2 \quad X = Q' / I^2 \quad (4)$$

Zur Ausfilterung der in der Phasenwirkleistungsgröße  $P$ , der  
 5 Phasen-Blindleistungsgröße  $Q$  und der quadrierten  
 Phasenstromamplitudengröße  $I^2$  enthaltenden 50-Hz-Anteile wird  
 ein Least-Squares-Abschätzverfahren mit einem Signalmodell  
 entsprechend Gl. (5) auf jede der Größen  $P$ ,  $Q$  und  $I^2$  getrennt  
 angewandt.

10

$$y_k = A \cdot e^{\frac{t}{\tau}} \cdot \sin(\omega_0 k \cdot T_A) + B \cdot e^{\frac{t}{\tau}} \cdot \cos(\omega_0 k \cdot T_A) + C \quad (5)$$

Das Abschätzverfahren berechnet aus der quadrierten  
 Phasenstromamplitudengröße  $I^2$ , der Phasen-Wirkleistungsgröße  
 15  $P$  bzw. der Phasen-Blindleistungsgröße  $Q$  die Parameter  $A$ ,  $B$   
 und  $C$  des Signalmodells. Der Parameter  $C$  liefert die gesuchte  
 Größe der Phasen-Wirkleistungsgröße  $P'$ , der Phasen-  
 Blindleistungsgröße  $Q'$  bzw. der quadrierten  
 Phasenstromamplitudengröße  $I^2'$ . Die Summanden mit den  
 20 Parametern  $A$  und  $B$  bilden die 50-Hz-Anteile nach. Die Größe  
 $\omega_0$  ist die auszufilternde Frequenz (50 Hz) und  $T_A$  ist die  
 Abtastzeit.

Wenn für das Energieversorgungsnetz eine Ersatzschaltung mit  
 25 nur zwei Generator-Maschinen an den Enden einer  
 Energieübertragungsleitung betrachtet wird, klingt die  
 Amplitude der 50-Hz-Anteile mit der Zeitkonstanten  $\tau$  der  
 Summenimpedanz zwischen den beiden Generator-Maschinen gemäß  
 Gl. (6) ab, wobei  $L$  die Schleifeninduktivität und  $R$  die  
 30 Schleifenresistanz des Stromkreises, der sich über die beiden  
 Generator-Maschinen schließt, ist.

$$\tau = \frac{\sum L}{\sum R} \quad (6)$$

Die Koeffizienten A, B und C werden derart bestimmt, daß die Summe der Fehlerquadrate zwischen aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten i und u bestimmten Werten y und 5 den nach Gl. (5) berechneten Abtastwerten  $y_k$  minimal wird (vgl. Gl. (7)).

$$J = \sum_{i=k-N}^k (y_i - h(\underline{\Theta}_k))^2 \rightarrow \text{MIN} \quad (7)$$

10 In Gl. (7) stellt J das zu minimierende Gütekriterium dar.

| Als Funktion  $h(\underline{\Theta}_k)$  wird das in Gl. (5) angegebene  
Signalmodell eingesetzt. Die zu bestimmenden Parameter A, B  
und C bilden einen Vektor  $\underline{\Theta}_k$  gemäß Gl. (8).

$$15 \quad \underline{\Theta}_k = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \quad (8)$$

Zur Lösung der Minimierungsaufgabe wird das Gütekriterium J nach dem Parameter-Vektor  $\underline{\Theta}_k$  abgeleitet. Für das Signalmodell nach Gl. (5) erhält man dann Gl. (9) mit Gl. (10).

$$0 = \sum_{i=k-N}^k 2\underline{\gamma}_i^T (y_i - \underline{\gamma}_i \underline{\Theta}_k) \quad (9)$$

$$\underline{\gamma}_i^k = \frac{\partial h}{\partial \underline{\Theta}_k} \quad \underline{\gamma}_i^k = \begin{pmatrix} \sin\left(\frac{2\pi}{T} iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} \\ \cos\left(\frac{2\pi}{T} iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

11

Löst man Gl. (9) nach dem Vektor  $\underline{\Theta}_k$  auf, so entsteht die Gl.

(11), mit der unter Nutzung der in den Gl. (12) und (13) angegebenen Matrix  $\underline{S}_k$  der Vektor  $\underline{\Theta}_k$  ermittelt wird.

$$5 \quad \underline{\Theta}_k = \underline{S}_k^{-1} \sum_{i=1}^k \underline{\gamma}_i^T \underline{y}_i \quad (11)$$

$$\underline{S}_k = \sum_{i=k-N}^k \underline{\gamma}_i^T \underline{\gamma}_i \quad (12)$$

$$\underline{S}_k = \begin{pmatrix} \sin^2\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \sin\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cos\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \sin\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} \\ \cos\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \cos^2\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \cos\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} \\ -\sin\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \cos\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & 1 \end{pmatrix}$$

10

(13)

Von den im Vektor  $\underline{\Theta}_k$  enthaltenden Parametern A, B und C wird

nur der Parameter C ausgewertet. Die Vektoren  $\underline{\gamma}_i^k$  nach Gl.

(10) und die Matrix  $\underline{S}_k$  nach Gl. (13) werden berechnet und  
15 als Konstanten abgelegt, so daß sie für alle Durchläufe des  
Verfahrens zur Verfügung stehen.

In der Pendelungserkennungseinheit Pe werden für die  
Erkennung des Pendelvorganges Monotoniekriterien auf die  
20 Bahnkurven der Impedanzwerte in der Impedanzebene angewandt.  
Dieses Verfahren für die Erkennung des Pendelvorganges an  
sich ist bekannt und in dem deutschen Patent DE 197 46 719 C1  
beschrieben.

25 In der Pendelsignalrücksetzeinheit Pu wird festgestellt, ob  
eine bereits erkannte Pendelung noch anhält. Zu diesem Zweck  
wird aus vergangenen, zur Pendelung gehörenden Phasen-  
Impedanzwerten Z ein Pendel-Modell erzeugt. Anschließend wird

überprüft, ob die durch die neu ermittelten Phasen-

Impedanzwerte Z beschriebene Bahnkurve noch dem Pendel-Modell entspricht. Bei der Erzeugung des Pendel-Modells wird davon ausgegangen, daß die Bahnkurve frei von Sprüngen ist und ihre

5 Richtung nur sehr langsam ändert. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Bahnkurve durch eine Potenzfunktion erster Ordnung, also eine Geradengleichung, gemäß Gl. (14) beschrieben.

$$10 \quad X(R) = m \cdot R + X_0 \quad (14)$$

Die Parameter m und X0 werden mittels eines nichtrekursiven Least-Squares-Schätzverfahrens aus den letzten N ermittelten Phasen-Impedanzwerten Z bestimmt.

15 Die Geradengleichung wird als Modellansatz für das Least-Squares-Schätzverfahren verwendet, der Parameter m charakterisiert die Steigung und der Parameter X0 den Offset der Geradengleichung. Aus den letzten ermittelten Wertepaaren 20 (R<sub>i</sub>, X<sub>i</sub>) der Phasen-Impedanzwerte Z<sub>i</sub> werden für das Modell nach Gl. (14) die Parameter m und X0 so bestimmt, daß die Summe der Fehlerquadrate zwischen den aus den gemessenen Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten i und u ermittelten Werten X<sub>i</sub> und den nach Gl. (14) berechneten Werten X minimal wird (s. Gl. (15)).

$$J = \sum_{i=k-N}^k (X_i - h(\underline{\Theta}_k))^2 \rightarrow \text{MIN} \quad (15)$$

In Gl. (15) ist J das zu minimierende Gütekriterium, als 30 Funktion  $h(\underline{\Theta}_k)$  wird der Modellansatz gemäß Gl. (14) eingesetzt. Entsprechend Gl. (16) enthält der Parametervektor  $\underline{\Theta}_k$  die zu bestimmenden Parameter m und X0 des Modellansatzes.

$$\underline{\Theta}_k = \begin{pmatrix} m \\ X_0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Zur Lösung der Minimierungsaufgabe muß das Gütekriterium  $J$  nach dem Parametervektor  $\underline{\Theta}_k$  abgeleitet werden. Für das

5 Signalmodell nach Gl. (14) erhält man dann die Gleichungen (17) und (18).

$$0 = \sum_{i=k-N}^k 2\underline{\gamma}_i^T (X_i - h(\underline{\Theta}_k)_i) \quad (17)$$

$$\underline{\gamma}_i^k = \frac{\partial h}{\partial \underline{\Theta}_k} = \begin{pmatrix} R \\ 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Löst man Gl. (17) nach dem Parametervektor  $\underline{\Theta}_k$  auf, so entsteht Gl. (19) zur Ermittlung des Parametervektors  $\underline{\Theta}_k$ .

~~$$15 \quad \underline{\Theta}_k = \underline{S}_k^{-1} \sum_{i=1}^k \underline{\gamma}_i^T \underline{y}_i \quad (19)$$~~

mit

$$\underline{S}_k = \sum_{i=k-N}^k \underline{\gamma}_i^T \underline{\gamma}_i \quad (20)$$

~~$$20 \quad \underline{S}_k = \sum_{i=k-N}^k \begin{pmatrix} R_i^2 & R_i \\ R_i & 1 \end{pmatrix} \quad (21)$$~~

Nach Einsetzen der Parameter in Gl. (14) erhält man das geschätzte Pendel-Modell. Entspricht ein neu bestimmter Phasen-Impedanzwert  $Z$  dem Pendel-Modell, d. h. liegt er in einem Toleranzband um die durch Gl. (14) dargestellte

25 Geradengleichung, so wird ein Anhalten der Pendelung erkannt. Liegt der neu bestimmte Phasen-Impedanzwert  $Z$  außerhalb des Toleranzbandes, so wird das Aufhören der Pendelung erkannt und am Ausgang der Pendelsignalrücksetzeinheit  $P_U$  ein

Pendelrücksetzsignal Pr für das Speicherelement Sp1, Sp2 oder Sp3 der jeweiligen Phase ausgegeben.

Die Einheit Phasenauswahl Pa erhält beispielsweise von einem  
5 nicht dargestellten Distanzschutz eine Anregung. Entsprechend  
der Art der angeregten Schleife ermittelt sie die Phasen, für  
die die Pendelungserkennungseinheit Pe bzw. die  
Pendelsignalrücksetzeinheit Pu eine Untersuchung des  
Pendelverhaltens durchführen soll. Eine Zuordnung der  
10 angeregten Schleifen zu den Phasen ist in der folgenden  
Tabelle angegeben.

angeregte Schleifen	auf Pendelverhalten zu untersuchende Phasen
L1E	L1
L2E	L2
L3E	L3
L12	L1 und L2
L23	L2 und L3
L31	L1 und L3

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von mindestens einem eine Pendelung in einem elektrischen Energieversorgungsnetz anzeigen den Signal (Pendelsignal Pd), bei dem
  - von mindestens einer Phase des Energieversorgungsnetzes jeweils Phasenstrom und Phasenspannung unter Bildung von Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten (i, u) abgetastet werden,
  - aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten Impedanzwerte gebildet werden,
  - die Impedanzwerte auf das Vorliegen einer Pendelung hin überwacht werden und bei Erkennung einer Pendelung mindestens ein Speicherelement (Sp) gesetzt und an dessen Ausgang das Pendelsignal (Pd) ausgegeben wird,
  - nach Setzen des Speicherelementes (Sp) weitere Impedanzwerte dahingehend überprüft werden, ob die festgestellte Pendelung noch anhält,
    - bei Anhalten der Pendelung das Speicherelement (Sp) unbeeinflußt bleibt und beim Aufhören der Pendelung das Speicherelement zurückgesetzt wird,
  - | durch gekennzeichnet, daß
    - bei der Überprüfung der weiteren Impedanzwerte ein Pendel-Modell benutzt wird, das aus vergangenen, zur Pendelung gehörenden Impedanzwerten oder aus von diesen Impedanzwerten abhängigen Größen gebildet ist,
    - überprüft wird, ob ein aktuell gebildeter weiterer Impedanzwert oder eine von diesem weiteren Impedanzwert abhängige Größe vom Pendel-Modell abweicht und
    - ein Auftreten eines weiteren Impedanzwertes oder einer von diesem Impedanzwert abhängigen Größe, welche von dem Pendel-Modell abweichen, als ein Aufhören der Pendelung gewertet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

5 das Pendel-Modell mittels eines Least-Squares-Schätzverfahrens ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

10 als Modellansatz für das Pendel-Modell

- eine Funktion der Form  $f(x)=ax^3+bx^2+cx+d$  mit den Parametern a, b, c und d, bei der ein oder mehrere Parameter von vornherein als Null festgelegt werden können oder

15 - eine Summe aus abklingenden Sinus- und Cosinusfunktionen verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

20 als von den Impedanzwerten abhängige Größe Resistanzwerte ( $R$ ) verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

25 als von den Impedanzwerten abhängige Größe Reaktanzwerte ( $X$ ) verwendet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

30 als von den Impedanzwerten abhängige Größe zeitliche Ableitungswerte ( $dZ/dt$ ) der Impedanz verwendet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

17

als von den Impedanzwerten abhängige Größe zeitliche Ableitungswerte ( $dR/dt$ ) einer Resistanz verwendet werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

5 dadurch gekennzeichnet, daß als von den Impedanzwerten abhängige Größe zeitliche Ableitungswerte ( $dX/dt$ ) einer Reaktanz verwendet werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

10 dadurch gekennzeichnet, daß aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten ( $i, u$ ) Mitsystemimpedanzwerte gebildet werden und für alle Phasen des Energieversorgungsnetzes ein gemeinsames Speicherelement (Sp) bereitgestellt und ein gemeinsames Pendelsignal (Pd) 15 erzeugt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

dadurch gekennzeichnet, daß aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten ( $i, u$ ) 20 jeweils einer auf Pendelung zu untersuchenden Phase des Energieversorgungsnetzes Phasen-Impedanzwerte gebildet werden und für jede dieser Phasen ein eigenes Speicherelement (Sp) bereitgestellt und ein eigenes Pendelsignal (Pd) erzeugt wird.

25

11. Verfahren nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung der Phasen-Impedanzwerte - aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabtastwerten ( $i, u$ ) 30 der jeweiligen Phase eine den Realteil der Phasenspannungsabtastwerte enthaltende Größe  $U_{re}$ , eine den Imaginärteil der Phasenspannungsabtastwerte enthaltende Größe  $U_{im}$ , eine den Realteil der Phasenstromabtastwerte enthaltende Größe  $I_{re}$  und eine den Imaginärteil der 35 Phasenstromabtastwerte enthaltende Größe  $I_{im}$  erzeugt wird,

---

- eine Phasen-Wirkleistungsgröße  $P$  gemäß

$P = U_{re} \cdot I_{re} - U_{im} \cdot I_{im}$  ermittelt wird,

- eine Phasen-Blindleistungsgröße  $Q$  gemäß

$Q = U_{im} \cdot I_{re} + U_{re} \cdot I_{im}$  ermittelt wird,

- 5 - eine quadrierte Phasenstromamplitudengröße  $I^2$  gemäß

$I^2 = I_{re} \cdot I_{re} + I_{im} \cdot I_{im}$  ermittelt wird,

- mittels jeweils eines Least-Squares-Abschätzverfahrens

netzfrequente Anteile aus der Phasen-Wirkleistungsgröße  $P$ ,

der Phasen-Blindleistungsgröße  $Q$  und der quadrierten

10 Phasenstromamplitudengröße  $I^2$  entfernt werden und

- Phasen-Resistanzwerte  $R$  gemäß  $R=P/I^2$  sowie Phasen-

Reaktanzwerte  $X$  gemäß  $X=Q/I^2$  und damit Phasen-

Impedanzwerte  $Z=R+jX$  ermittelt werden.

---

## Zusammenfassung

Verfahren zum Erkennen einer Pendelung in einem elektrischen

5 Energieversorgungsnetz

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen von mindestens einem eine Pendelung in einem elektrischen Energieversorgungsnetz anzeigen Signal (Pendelsignal). Um

10 stets sicher und zuverlässig das Pendelverhalten eines elektrischen Energieversorgungsnetzes festzustellen, wird ein Pendel-Modell benutzt, das aus vergangenen, zur Pendelung gehörenden Impedanzwerten oder aus von diesen Impedanzwerten abhängigen Größen gebildet ist. Es wird überprüft, ob ein

15 aktuell gebildeter weiterer Impedanzwert oder eine von diesem weiteren Impedanzwert abhängige Größe vom Pendel-Modell abweicht und ein Auftreten eines weiteren Impedanzwertes oder einer von diesem Impedanzwert abhängigen Größe, welche von dem Pendel-Modell abweichen, als ein Aufhören der Pendelung

20 gewertet.

FIG 1

99 P 4 179

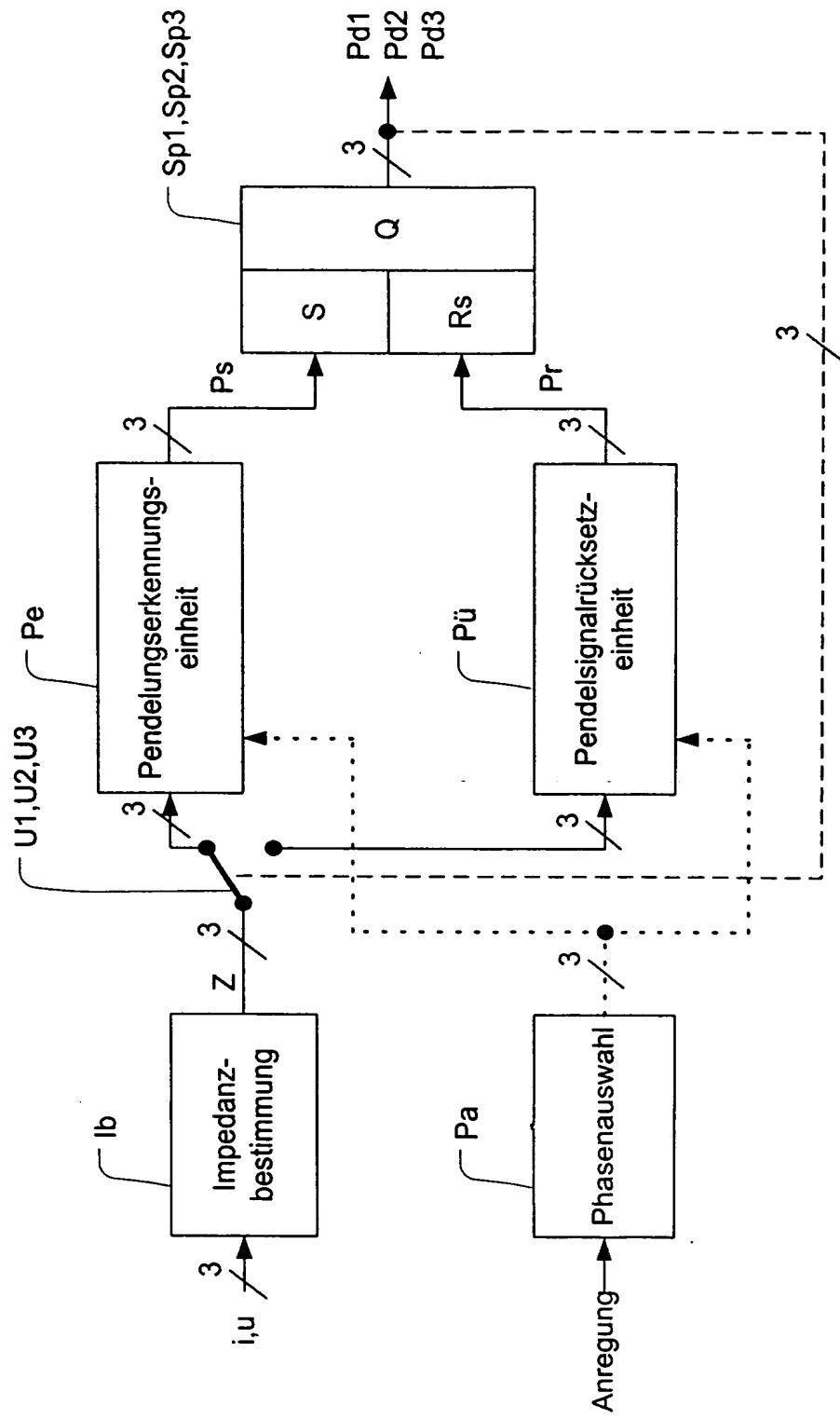


Fig. 1

99 P 4 179

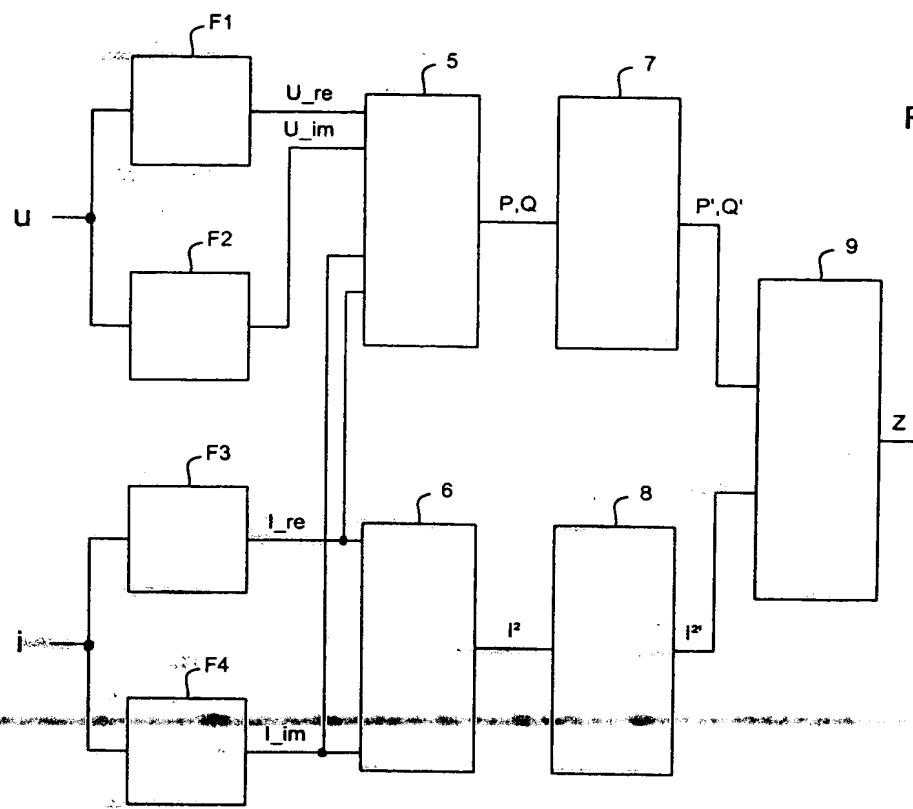


Fig. 2

99 P 4 179

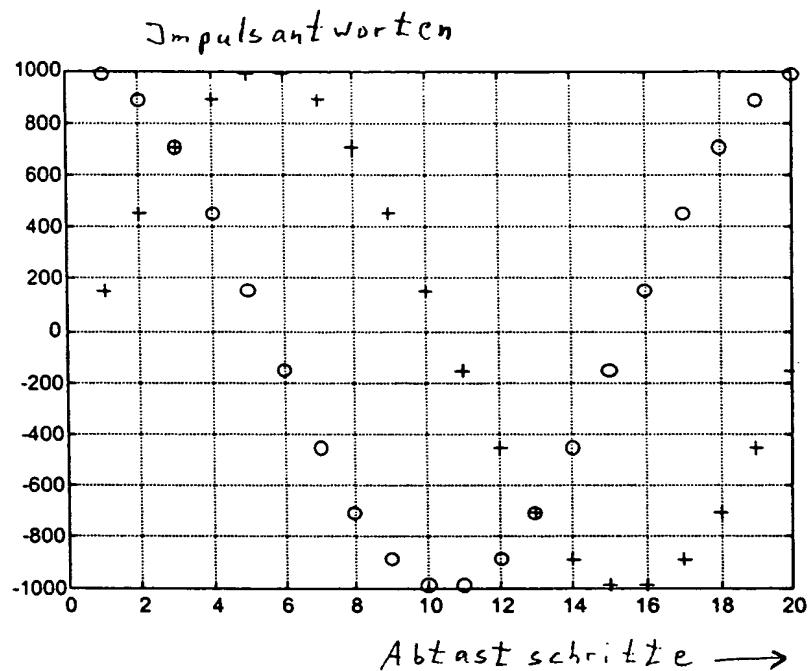


Fig. 3

99 P 4179

